

Beschreibung

Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor

5 Die Erfindung betrifft ein Stellverfahren und eine Stellvorrichtung für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 8.

10

In modernen Einspritzanlagen für Brennkraftmaschinen werden piezoelektrische Aktoren als Stellglieder für Einspritzventile eingesetzt, was im Vergleich zu herkömmlichen Magnetventilen eine hochdynamische Steuerung des Einspritzvorgangs ermöglicht. Der Hub eines derartigen piezoelektrischen Aktors und damit die Ventilstellung des zugehörigen Einspritzventils hängt von dem Ladungszustand ab, so dass der piezoelektrische Aktor entsprechend dem gewünschten Hub aufgeladen bzw. entladen werden muss.

20

Um den Verbrennungsverlauf in einer Brennkraftmaschine zu optimieren, ist es wünschenswert, dass der Kraftstoff in einem Arbeitstakt der Brennkraftmaschine in mehrere Portionen aufgeteilt werden kann. Um mit einem piezoelektrischen Aktor mehrere Voreinspritzungen sehr kleiner Kraftstoffmengen und darauffolgend eine Haupteinspritzung sowie bei Bedarf mehrere Nacheinspritzungen in schneller Abfolge darstellen zu können, muss der Aktor sehr schnell auf unterschiedliche Ladungszustände aufgeladen bzw. entladen werden. Zwischen den einzelnen Einspritzungen eines Arbeitstaktes sollte die Möglichkeit bestehen, den Aktor nicht vollständig zu entladen, d.h. das Ventil in einer minimal geöffneten Stellung zu halten, um ein schnelleres Ansprechen des Aktors bei der nächsten Ansteuerung zu ermöglichen und um Druckgradienten im Injektor zu vermeiden, die eine schnelle Abfolge von Einspritzungen unmöglich machen würden.

35

2

Außerdem ist es wünschenswert, dass der Aktor über Zwischenstellungen, bei denen das Ventil teilweise geöffnet ist, bis zu einem bestimmten Hub aufgeladen oder entladen werden kann, um störende Geräuschentwicklungen und Vibrationen möglichst gering zu halten und um Verschleißerscheinungen am Aktor oder am Ventil zu minimieren.

Zur elektrischen Ansteuerung piezoelektrischer Aktoren entsprechend dem gewünschten Hub ist aus DE 199 44 733 A1 eine Treiberschaltung mit einem Transformator bekannt, wobei die Primärseite des Transformators über einen Ladeschalter mit einer Versorgungsspannung verbunden ist, während die Sekundärseite über einen Entladeschalter mit dem piezoelektrischen Aktor verbunden ist. Durch eine geeignete pulsweitenmodulierte Ansteuerung des Ladeschalters und des Entladeschalters lässt sich der Ladezustand des piezoelektrischen Aktors entsprechend der gewünschten Stellung des Ventils einstellen, so dass das Einspritzventil zu den vorgegebenen Zeiten öffnet bzw. schließt. Bei der Ansteuerung eines bestimmten Hubs des Aktors zum Öffnen des Ventils auf einen Zwischenzustand, bei dem es teilweise geöffnet ist, wird eine Aktorkennlinie berücksichtigt, die einen Zusammenhang zwischen der auf den Aktor aufgebrachten Ladung und dem Hub des Aktors darstellt.

Mit diesem Verfahren ist zwar eine Ansteuerung des Aktors auf einen bestimmten Hub möglich. Vor dem nächsten Öffnungszyklus des Ventils muss der Aktor allerdings vollständig entladen werden, wobei das Ventil geschlossen wird, um wieder einen definierten Ausgangszustand zu erreichen. Dies ist notwendig, da der Aktor beim Entladen nicht derselben Kennlinie folgt wie beim Laden. Gründe hierfür sind beispielsweise die Systemhysterese des Aktors oder parasitäre Widerstände.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zu Grunde, piezoelektrische Einspritzventile direkt nacheinander und in schneller Abfolge auf beliebige Hübe exakt anzusteuern, um optimale Einspritzabfolgen zu ermöglichen. Dabei soll es möglich sein, .

3

diese Hübe über beliebige Ansteuerwege zu erreichen, um Geräuschemissionen, Vibrationen und Verschleiß minimieren zu können.

- 5 Die Aufgabe wird durch ein Stellverfahren und eine Stellvorrichtung für einen piezoelektrischen Aktor gemäß den Ansprüchen 1 bzw. 8 gelöst.

Die Erfindung geht von der physikalischen Erkenntnis aus,
10 dass nicht nur beim Laden des piezoelektrischen Aktors eine Aktorkennlinie verwendet werden kann, sondern auch für das Entladen, wobei die beiden Aktorkennlinien über die Systemhysterese in Verbindung stehen. Dadurch ist es möglich, von jeder beliebigen Ventilstellung jede beliebige andere Ventil-
15 stellung direkt anzusteuern. Um dies zu ermöglichen, müssen die Aktorkennlinien und die Hysterese des Aktors genau bekannt sein, um die Steuerung zu regeln. Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass sich die von der Steuerung angenommenen Aktorkennlinien und die tatsächliche Hysterese
20 im laufenden Betrieb ändern können.

Das erfindungsgemäße Stellverfahren lädt oder entlädt den Aktor auf verschiedene Ladungszustände, die jeweils einer Ventilstellung entsprechen. Die Steuerung der Aufladung bzw.
25 Entladung erfolgt dabei gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten entsprechend einem vorgegebenen Sollwert für den Ladungszustand. Das Steuerungsverhalten wird in Abhängigkeit einer Regelgröße, die den Ladungszustand des Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt, geregelt.

30 Die Regelung des Steuerungsverhaltens kann grundsätzlich in Abhängigkeit mindestens einer Regelgröße erfolgen, wobei die oben genannten Größen nur Beispiele sind. So ist auch eine Regelung in Kombination mit verschiedenen anderen Regelgrößen
35 vorstellbar.

- Vorzugsweise werden die im Rahmen der Regelung ermittelten Größen mit einem Sollwert verglichen. So kann die Abweichung der gemessenen Ventilstellung von der Sollstellung, also die Abweichung von dem Sollwert des letzten Lade-/Entlade-
- 5 vorgangs, dazu verwendet werden, die Parameter der verwendeten Aktorkennlinien den physikalischen Eigenschaften des Aktors anzupassen und außerdem kann die Soll/Ist-Abweichung beim nächsten Lade-/Entladevorgang ausgeglichen werden.
- 10 Die Regelungsgröße wird vorzugsweise in einer Steuerpause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Auf- bzw. Entladungen ermittelt. Dabei ist als geeigneter Zeitpunkt jede mögliche Wartezeit zwischen dem Ansteuern verschiedener Ladungszustände vorstellbar. Dies ist von Vorteil, da dadurch die Ermitt-
- 15 lung der Regelgröße nicht im zeitkritischen Bereich der Ansteuerung stattfindet. Während einer Ansteuerung mit hoher Geschwindigkeit ist eine exakte Messung unter Umständen schwierig.
- 20 Vorteilhafterweise wird auch das Steuerungsverhalten in einer Steuerungspause zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen eingestellt. Dadurch kann das Ansteuern eines gewünschten Ladungszustandes mit sehr hoher Geschwindigkeit erfolgen, da während des Ansteuerns keine Regelung notwendig
- 25 ist. In einer Steuerpause kann in der zur Verfügung stehenden Zeit das Steuerungsverhalten, insbesondere die Aktorkennlinie und die Hysterese, neu berechnet werden.
- In einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Stellverfahren
- 30 darauf ausgelegt, dass der Aktor auch auf Ladungszustände, die einer teilweise geöffneten Ventilstellung entsprechen, aufgeladen und/oder entladen werden kann. Mit dem teilweisen Öffnen des Ventils können Voreinspritzungen vorgenommen werden. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn während dem Ansteuern
- 35 des vollständig geöffneten Zustands Zwischenzustände angefahren werden, auf denen das Ventil eine Zeit lang gehalten wird, um die Geräuscentwicklung und um Vibrationen zu mini-

mieren. Durch ein derartiges gestuftes Öffnen bzw. Schließen des Einspritzventils lassen sich auch die strömungsdynamischen Vorgänge beim Einspritzvorgang optimieren. Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Stellverfahrens ist dabei, dass auch
5 nach dem Ansteuern mehrerer Zwischenzustände (Laden/Entladen) die Ventilstellung noch exakt bekannt ist.

Vorzugsweise finden als Regelgrößen die Spannung am Aktor oder die Ladung des Aktors Verwendung. Diese Größen können
10 auf unterschiedliche Weise ermittelt werden. So kann die Aktorspannung direkt abgegriffen werden oder auch relativ zu einem Bezugsniveau gemessen werden, falls der Aktor mit einem Widerstand gegen Masse abgeschlossen ist. Die Ladung des Aktors kann beispielsweise aus dem Integral der aufgebrauchten
15 Stromstöße, wobei sowohl Lade- als auch Entladestrom zu berücksichtigen ist, gewonnen werden. Es sind jedoch auch andere Größen als Regelgrößen vorstellbar, beispielsweise die Temperatur des Aktors.

20 Vorteilhafterweise wird das Steuerungsverhalten beim Laden von einer vorgegebenen Ladekennlinie bestimmt. Die Ladekennlinie kann beispielsweise einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Ladezeit darstellen. Umso größer die aufzubringende Ladung ist, umso größer ist die Ladezeit bei Pulsen konstanter Frequenz. Dieser Zusammenhang ist
25 unter Umständen nicht linear, falls beispielsweise die Stärke der Stromstöße mit steigender Ladung des Aktors abnimmt. Die Ladekennlinie kann aber auch einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Anzahl der Pulse, mit denen
30 der Aktor geladen wird, darstellen, wobei auch andere Zusammenhänge sinnvoll sein können. Dasselbe gilt auch für die Entladevorgänge, auch diese werden vorzugsweise durch eine oder mehrere unterschiedliche Entladekennlinien bestimmt. Dies ermöglicht das Ansteuern gewünschter Ventilstellungen
35 mit hoher und einstellbarer Geschwindigkeit. Außerdem kann vorteilhafterweise der Lade-/Entladevorgang in einer Lade-/Entladekurve über die Zeit eingestellt werden. In der Lade-

kurve wird beispielsweise festgelegt, dass während des Ladevorgangs das Ventil zu Beginn relativ langsam beschleunigt und zum Ende des Ladevorgangs relativ langsam gebremst wird, dazwischen jedoch mit hoher Geschwindigkeit bewegt wird. Solche über den Lade-/Entladevorgang variablen Geschwindigkeiten können vorzugsweise mit einer Pulsweitenmodulation der Ladungspulse gesteuert werden. Dies kann dazu dienen, hohe Druckgradienten zu vermeiden. Für unterschiedliche Lade-/Entladevorgänge können auch verschiedene Ladekurven Verwendung finden. Durch eine geeignete Wahl der Formen der Ladekurven kann die Geräuschemission, die Vibrationsanregung und der Verschleiß im Betrieb gesenkt werden. Die Lade-/Entladekennlinien, die Aktorkennlinien, die Hysterese und die Ladekurven können abrufbar in einer Speichereinheit gespeichert sein.

Die Regelung der Steuerung kann über eine Veränderung der Steilheit der Lade-/Entladekennlinie erfolgen. Dies könnte beispielsweise bedeuten, dass für eine bestimmte aufzubringende Ladung, entsprechend einem bestimmten Weg, pro Puls mehr Ladung aufgebracht wird. Dies kann vorteilhafterweise mit einer Pulsweitenmodulation der Stromstöße eingestellt werden. Analog können auch die Aktorkennlinien und die Ladekurven variiert werden.

Es ist jedoch auch alternativ vorstellbar, die Form der Lade-/Entladekennlinie zu variieren. Genauso können auch die Formen der Aktorkennlinien und der Ladekurven verändert werden.

Das Steuerungsverhalten kann auch durch die Ladedauer und/oder Entladedauer eines Lade-/Entladevorgangs bestimmt sein. Wird beispielsweise der Aktor mit Pulsen gleicher Stärke mit konstanter Frequenz geladen, so kann mit einer Verlängerung der Ladedauer entsprechend einer Erhöhung der Anzahl der pro Ladevorgang aufgebrauchten Pulse eine höhere Ladung, die in einem Vorgang aufgebracht wird, eingestellt werden. Mit einer Verkürzung der Ladedauer wird die aufgebrauchte La-

5 dung eines Ladevorganges verringert. Analoges gilt für den
Entladevorgang. Neben den genannten Möglichkeiten zur Rege-
lung der Steuerung entsprechen auch andere dem erfindungsge-
mäßigen Gedanken. Insbesondere können Kombinationen der oben
5 genannten Regelungsmöglichkeiten eingesetzt werden.

10 In einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung wer-
den auch externe Messgrößen für die Regelung erfasst. Mit ex-
ternen Messgrößen werden hier solche Messgrößen bezeichnet,
10 die außerhalb des Bereichs Aktor mit dazugehöriger Treiber-
schaltung liegen. Dies kann beispielsweise der Druck am In-
jektor oder eine andere Messgröße aus dem Bereich der Brenn-
kraftmaschine sein. Da der Druck am Ventil die Aktorkennlinie
beeinflussen kann, ist es vorteilhaft, wenn die Regelung der
15 Steuerung des Aktors unter Berücksichtigung dieser Größe er-
folgt. Es sind aber auch andere Regelgrößen vorstellbar.

20 Vorteilhafterweise wird als externe Messgröße bei der Rege-
lung der Steuerung die Kühlflüssigkeitstemperatur der Brenn-
kraftmaschine oder die Öltemperatur der Brennkraftmaschine
berücksichtigt.

25 Viele verschiedene Größen haben Einfluss auf das Hysterese-
verhalten und die Kennlinien des Aktors, weswegen es vorteil-
haft sein kann, auch andere als die hier genannten Messgrößen
zur Regelung der Steuerung heranzuziehen.

30 Dem Stellverfahren zugehörig ist eine erfindungsgemäße Stell-
vorrichtung zur gesteuerten Aufladung und/oder Entladung ei-
nes Aktors eines Ventils auf vorgegebene Ladungszustände mit
einem vorgegebenen Steuerverhalten. Zur Anpassung des Steue-
rungsverhaltens weist die Stellvorrichtung vorzugsweise einen
Regler auf, der eingangsseitig mit dem Aktor oder dem Ventil
verbunden ist, wobei die Regelgröße den Ladungszustand des
35 Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt. Dadurch können
beispielsweise Soll/Ist-Abweichungen ermittelt und für die
Regelung herangezogen werden. Der Regler weist vorzugsweise

eine Speichereinheit auf, in der vorangegangene Ladevorgänge und Abweichungen gespeichert sind, damit auch Informationen von weiter zurückliegenden Lade- oder Entladevorgängen bei der Regelung berücksichtigt werden können.

5

Vorteilhafterweise ist der Steuerung der Ladungsvorgänge ein Regler überlagert, der eine der ermittelten Regelgrößen und/oder die Soll/Ist-Abweichung einer Regelgröße als Eingangsgroße verwendet.

10

Der Regler nutzt vorzugsweise Steuerpausen zum diskontinuierlichen Erfassen der Regelgröße und/oder zum diskontinuierlichen Einstellen des Steuerungsverhaltens.

15 Vorteilhafterweise ist auch, einen Sensor zur Erfassung der Öltemperatur oder der Kühlflüssigkeitstemperatur des Fahrzeugs mit dem Regler zu verbinden, damit dieser eine oder mehrere dieser Größen als Regelgrößen verwenden kann. Dies sind nur Beispiele, auch eine eingangsseitige Verbindung des Reglers mit
20 anderen Sensoren zur Erfassung weiterer Regelgrößen kann sinnvoll sein.

Besonders vorteilhaft eignet sich das erfindungsgemäße Stellverfahren mit zugehöriger Stellvorrichtung für Pumpe-Düse-
25 Einspritzanlagen, jedoch ist die Erfindung auch mit Common-Rail-Einspritzanlagen realisierbar. Darüber hinaus ist die Erfindung auch bei einer Benzin-Direkteinspritzung (HPDI - High Pressure Direct Injection) anwendbar.

30 Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

35 Figur 1 ein Schaltbild einer herkömmlichen Treiberschaltung zur elektrischen Ansteuerung eines Piezoak-

tors mit der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung,
Figur 2a-2c drei beispielhafte Regelschaubilder für die
Steuereinheit aus Figur 1 sowie
5 Figur 3 das erfindungsgemäße Steuerverfahren als Flussdiagramm.

Die in Figur 1 dargestellte Treiberschaltung dient zur elektrischen Ansteuerung piezoelektrischer Aktoren von Einspritzventilen einer Brennkraftmaschine. Zur Vereinfachung ist
10 hierbei nur ein einziger Aktor CP dargestellt, obwohl bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine entsprechend der Anzahl von Brennräumen mehrere Aktoren vorhanden sind. Die nicht dargestellten Aktoren sind jedoch identisch aufgebaut
15 und parallel zu dem Aktor CP angeschlossen, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet ist.

Der Aktor CP ist - wie die nicht dargestellten weiteren Aktoren für die anderen Brennräume der Brennkraftmaschine - in
20 Reihe mit einem Auswahlschalter 1 und einem Widerstand R1 geschaltet, wobei der Auswahlschalter 1 aus einer Parallelschaltung aus einem Schaltelement S1 und einer Diode D1 besteht. Der Auswahlschalter 1 ermöglicht es, einen der Aktoren für einen Lade- bzw. Entladevorgang auszuwählen, indem der
25 jeweilige Schalter S1 durchschaltet, während die entsprechenden Schalter für die anderen Aktoren trennen.

Die Stromversorgung der Treiberschaltung erfolgt durch einen Spannungswandler 2, der ausgangsseitig durch einen Kondensator C1 gepuffert ist und beim Einsatz in einem Kraftfahrzeug
30 von dem Kraftfahrzeugbordnetz mit einer Netzspannung $V_{cc}=12V$ versorgt wird. Alternativ hierzu kann die Erfindung auch in einem Kraftfahrzeugbordnetz mit einer Netzspannung von 42V eingesetzt werden.

35

Zwischen dem Aktor CP und dem Spannungswandler 2 ist hierbei ein Transformator 3 mit einer Primärwicklung W1 und einer Se-

kundärwicklung W2 angeordnet, wobei die Primärwicklung W1 mit dem Spannungswandler 2 verbunden ist, während die Sekundärwicklung mit dem Aktor CP verbunden ist.

- 5 Die Primärwicklung W1 des Transformators 3 ist in Reihe mit einem Widerstand R2 und einer Parallelschaltung aus einer Diode D2 und einem Ladeschalter S2 geschaltet. Zum Aufladen des Stellgliedes wird der Ladeschalter S2 beispielsweise mit vorgegebener Frequenz und vorgegebenem Tastverhältnis im Pulsbetrieb mit einer vorgegebenen Zahl von pulsweitenmodulierten
10 Signalen bei der vorgegebenen Ladespannung angesteuert. Alternativ kann der Ladeschalter S2 beispielsweise auch mit variabler Frequenz angesteuert werden. Während des leitenden Zustandes des Ladeschalters S2 steigt der Strom durch die
15 Primärspule W1 an und wird zu einem vorgegebenen Zeitpunkt durch Öffnen (nichtleitendsteuern) des Ladeschalters S2 abgebrochen. In dieser nichtleitenden Phase der Primärseite fließt über die Sekundärwicklung W2 bei einem dem Windungsverhältnis $W2/W1$ entsprechenden Strom eine impulsförmige
20 Spannung, die von einem Kondensator C2 geglättet wird, und lädt den Aktor CP mit jedem Strompuls weiter auf, bis schließlich nach der vorgegebenen Zahl von Pulsen eine vorgegebene Aktorspannung in etwa erreicht ist. Der Sekundärkreis wird beim Laden des Aktors CP über den Auswahl­schalter 1 ge-
25 schlossen.

Die Sekundärwicklung W2 des Transformators 3 ist dagegen in Reihe mit einem Widerstand R3 und einer Parallelschaltung aus einer Diode D3 und einem Schalter S3 geschaltet.

- 30 Die Entladung des Aktors CP erfolgt ebenfalls dadurch, dass der Entladeschalter S3 pulsförmig leitend und nichtleitend gesteuert wird, wodurch die Aktorspannung sinkt. Dabei fließt der Strom von dem Aktor CP über die Sekundärwicklung W2, den
35 Entladeschalter S3 und den Auswahl­schalter 1 zurück zu dem Aktor CP.

Bei jedem Öffnen des Entladeschalters S3 wird ein Teil der Entladeenergie auf die Primärseite des Transformators 3 übertragen und in den Ladekondensator C1 rückgespeichert. Der Primärstromkreis schließt sich über die Diode D2.

5

Die Ansteuerung des Auswahl Schalters 1, des Ladeschalters S2 sowie des Entladeschalters S3 erfolgt durch eine Steuereinheit 4, die hier nur schematisch dargestellt ist.

10 Hierbei berücksichtigt die Steuereinheit 4 in der dargestellten Version den Ladestrom, den Entladestrom, den Aktorstrom, die Aktorspannung, die primärseitige Spannung sowie externe Regelgrößen wie beispielsweise die Öltemperatur $T_{\text{Öl}}$ und die Kühlflüssigkeitstemperatur $T_{\text{Kühlflüssigkeit}}$. Die Steuereinheit 4
15 weist deshalb mehrere Messeingänge auf, die mit den spannungsseitigen Anschlüssen der Widerstände R1, R2 bzw. R3 sowie mit den spannungsseitigen Anschlüssen der Primärwicklung W1 bzw. der Sekundärwicklung W2 und mit Sensoren zur Ermittlung der anderen oben genannten Größen verbunden sind.

20

Die Figuren 2a bis 2c zeigen beispielhafte einfache Ausführungsformen des Regelkreises der Steuereinheit 4 aus Figur 1. Die Steuerung 5 erhält einen Sollwert S_{Soll} für die Aktorstellung, der einer Ventilstellung entspricht. Die Steuereinheit
25 lädt oder entlädt den Aktor 6 über die Treiberschaltung aus Figur 1 mit einer vorgegebenen Ladekennlinie entsprechend des Sollwerts S_{Soll} . Die Steuerung 5 in Figur 2a verwendet dazu eine Aktorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen dem Weg und der aufzubringenden Ladung darstellt und eine Ladekennlinie, die einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Ladezeit T_{Lade} darstellt. Der Aktor 6 erreicht
30 nach dem Lade-/Entladevorgang die Aktorstellung S_{Ist} , die in etwa der Vorgabe S_{Soll} entspricht. Die Differenz ΔS zwischen S_{Soll} und S_{Ist} verwendet ein Regler 7 um Parameter der Steuerung 5, insbesondere um die verwendete Aktorkennlinie dem ermittelten Aktorverhalten anzupassen. Beispielsweise wird dann
35 der gleiche vorgegebene Aktorweg in einem der folgenden Lade-

/Entladevorgänge mit einer anderen Ladung und dementsprechend mit einer anderen Ladezeit T_{Lade} angesteuert.

In Figur 2b ist ein anderer einfacher Regelkreis dargestellt.

5 Er entspricht weitgehend dem der Figur 2a, mit dem Unterschied, dass die Steuerung 5' hier eine Ladekennlinie verwendet, die einen Zusammenhang zwischen der Anzahl n der Pulse, mit denen der Aktor 6' während eines Lade-/Entladevorgangs angesteuert wird, und der vorgegebenen Ladung darstellt.

10

In Figur 2c erfolgt das Laden bzw. Entladen des Aktors 6'' mit pulsweitenmodulierten Stromstößen. Dadurch kann nicht nur die Steilheit der Ladekennlinie oder die Dauer des Ladevorgangs sondern auch die Form der Ladekennlinie durch den
15 Regler 7'' beeinflusst werden. Außerdem ist hier beispielhaft ein Eingang für ein externes Sensorsignal dargestellt. Der Regler 7'' berücksichtigt bei der Regelung der Steuerung auch die Öltemperatur $T_{Öl}$ des die Steuereinheit enthaltenden Fahrzeugs.

20

Figur 3 enthält ein schematisches Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Stellverfahrens. Es wird ein Sollwert S_{Soll} für die Ventilstellung vorgegeben. Die Steuerung 5, 5', 5'' lädt/entlädt den Aktor CP, 6, 6', 6'' entsprechend des Sollwertes S_{Soll} . Dabei verwendet sie eine Aktorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen dem gewünschten Weg und der aufzubringenden Ladung (positiv oder negativ) herstellt. Mit der so für den Weg ermittelten Ladung wird entsprechend einer vorgegebenen Lade-/Entladekennlinie der Aktor CP, 6, 6', 6''
25 aufgeladen bzw. entladen. Dies erfolgt vorzugsweise mit pulsweitenmodulierten Stromstößen. Die vom Ventil tatsächlich angefahrne Stellung S_{Ist} wird direkt oder aus einer anderen Größe, beispielsweise der Aktorladung, ermittelt. Durch einen Vergleich des Sollwerts S_{Soll} mit dem Istwert S_{Ist} wird der
30 Stellfehler ermittelt. Dieser Stellfehler wird verwendet, um das Steuerungsverhalten der Steuereinheit neu zu regeln. Hierbei können auch externe Regelgrößen berücksichtigt wer-

35

den. Das neu geregelte Steuerungsverhalten wirkt sich bei der nächsten Auf- bzw. Entladung des Aktors CP, 6, 6', 6'' auf einen neuen Sollwert S_{Soll}' aus.

- 5 Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen.

Patentansprüche

1. Stellverfahren für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor (CP, 6) eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten:
- Aufladung und/oder Entladung des Aktors (CP, 6) auf verschiedene Ladungszustände, die jeweils einer Ventilstellung entsprechen,
 - 10 - Steuerung der Aufladung und/oder der Entladung gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten entsprechend einem vorgegebenen Sollwert (S_{Soll}) für den Ladungszustand,
 - Ermittlung einer Regelgröße (S_{Ist}), die den Ladungszustand des Aktors (CP, 6) und/oder die Ventilstellung wiedergibt, 15 wobei die Regelgröße (S_{Ist}) in einer Steuerpause zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen ermittelt wird,
 - Regelung des Steuerungsverhaltens in Abhängigkeit von der Regelgröße (S_{Ist}), wobei das Steuerungsverhalten in einer 20 Steuerpause zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen eingestellt wird,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
- dass zusätzlich mindestens eine externe Messgröße erfasst und das Steuerungsverhalten in Abhängigkeit von der externen 25 Messgröße geregelt wird, wobei die externe Messgröße der Druck an dem Ventil ist.
2. Stellverfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
- 30 dass der Aktor (CP, 6) auch auf Ladungszustände aufgeladen und/oder entladen wird, die einer teilweise geöffneten Ventilstellung entsprechen.
3. Stellverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

15

dass zur Ermittlung der Regelgröße (S_{Ist}) die Spannung an dem Aktor (CP, 6) und/oder die Ladung des Aktors (CP, 6) gemessen wird.

5 4. Stellverfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Steuerungsverhalten für die Aufladung durch eine
vorgegebene Ladekennlinie und/oder das Steuerungsverhalten
10 für die Entladung durch eine vorgegebene Entladekennlinie bestimmt wird, wobei die Ladekennlinie und die Entladekennlinie eine vorgegebene Form und Steilheit aufweisen.

5. Stellverfahren nach Anspruch 4,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass im Rahmen der Regelung die Steilheit der Ladekennlinie und/oder der Entladekennlinie eingestellt wird.

6. Stellverfahren nach Anspruch 4 oder 5,
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass im Rahmen der Regelung die Form der Ladekennlinie und/oder der Entladekennlinie eingestellt wird.

7. Stellverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Steuerungsverhalten durch die Ladedauer und/oder die Entladedauer (T_{Lade}) bestimmt wird, wobei im Rahmen der Regelung die Ladedauer und/oder die Entladedauer (T_{Lade}) eingestellt wird.

30 8. Stellvorrichtung für mindestens einen Aktor eines Ventils, insbesondere einen piezoelektrischen Aktor (CP, 6) eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, mit
- einer Steuerung (5) zur gesteuerten Aufladung und/oder
35 Entladung des Aktors (CP, 6) auf vorgegebene Ladungszustände entsprechend einem vorgegebenen Sollwert (S_{Soll}),
wobei

16

- die Ladungszustände jeweils einer Ventilstellung entsprechen und
die Steuerung (5) ein vorgegebenes Steuerungsverhalten aufweist,
- 5 - einem Regler (7) zur Anpassung des Steuerungsverhaltens der Steuerung (5), wobei
der Regler (7) zur Erfassung einer Regelgröße (S_{Ist}) ein-
gangsseitig mit dem Aktor (CP, 6) und/oder dem Ventil ver-
bunden ist und
- 10 die Regelgröße (S_{Ist}) den Ladungszustand des Aktors (CP, 6)
und/oder die Ventilstellung wiedergibt und
der Regler (7) die Regelgröße (S_{Ist}) diskontinuierlich je-
weils in Steuerpausen erfasst und das Steuerungsverhalten
diskontinuierlich jeweils in Steuerpausen einstellt,
- 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass' der Regler (7) zur Erfassung mindestens einer weiteren
Regelgröße eingangsseitig mit mindestens einem Sensor verbun-
den ist, der den Druck an dem Ventil erfasst.
- 20 9. Vorrichtung nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Regler (7) der Steuerung (5) überlagert ist.

25

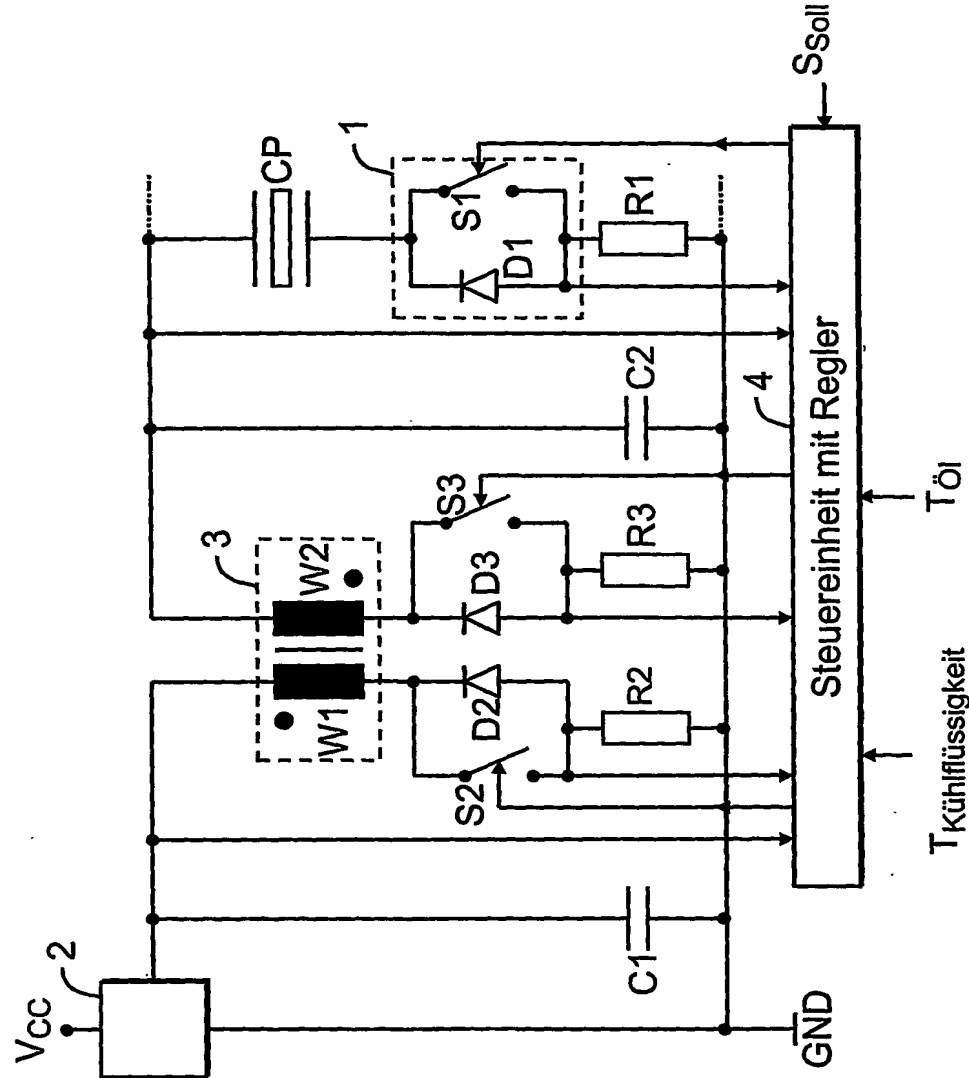


FIG 1

2 / 3

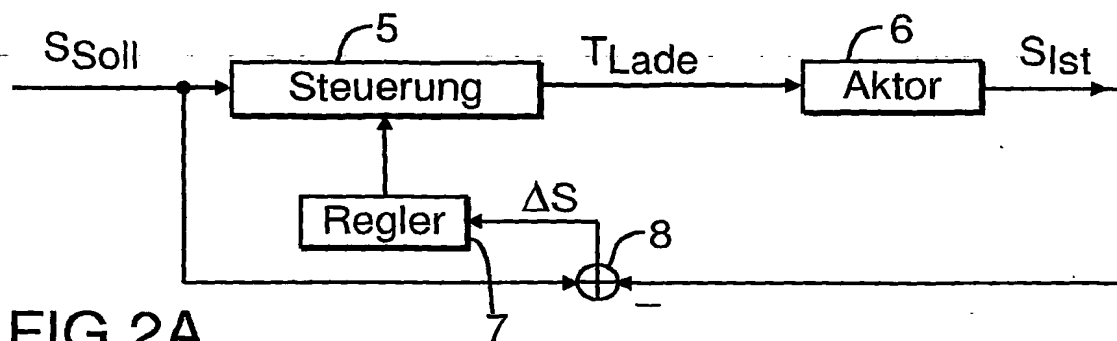


FIG 2A

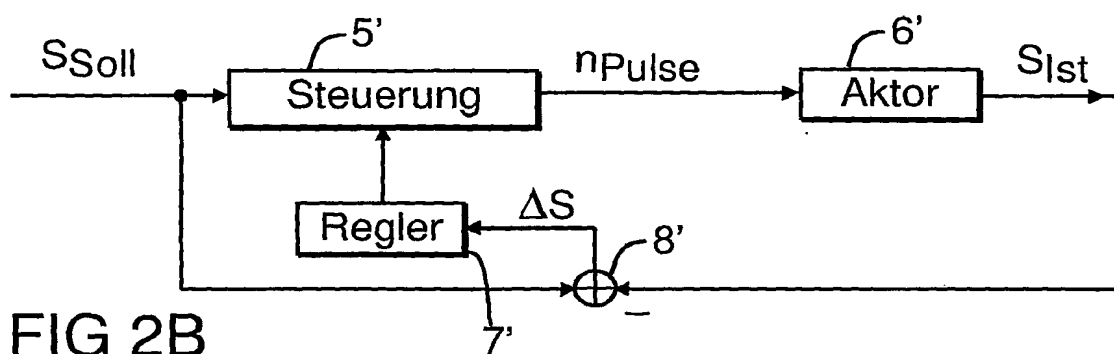


FIG 2B

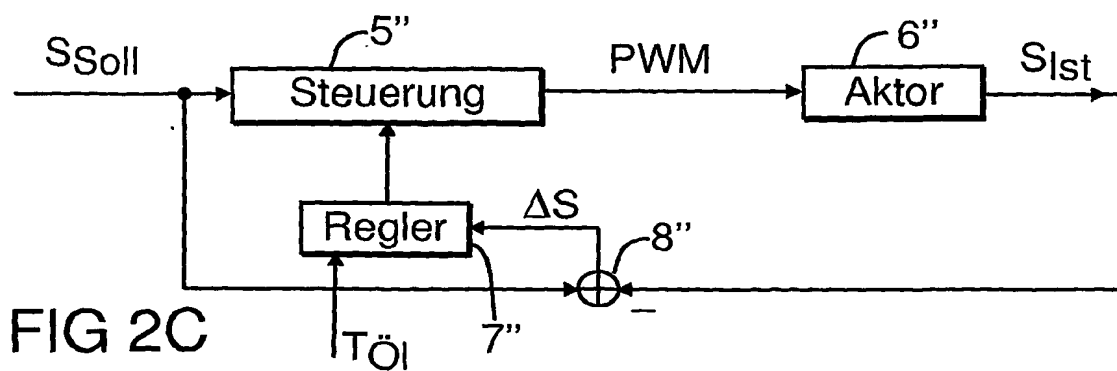


FIG 2C

3 / 3

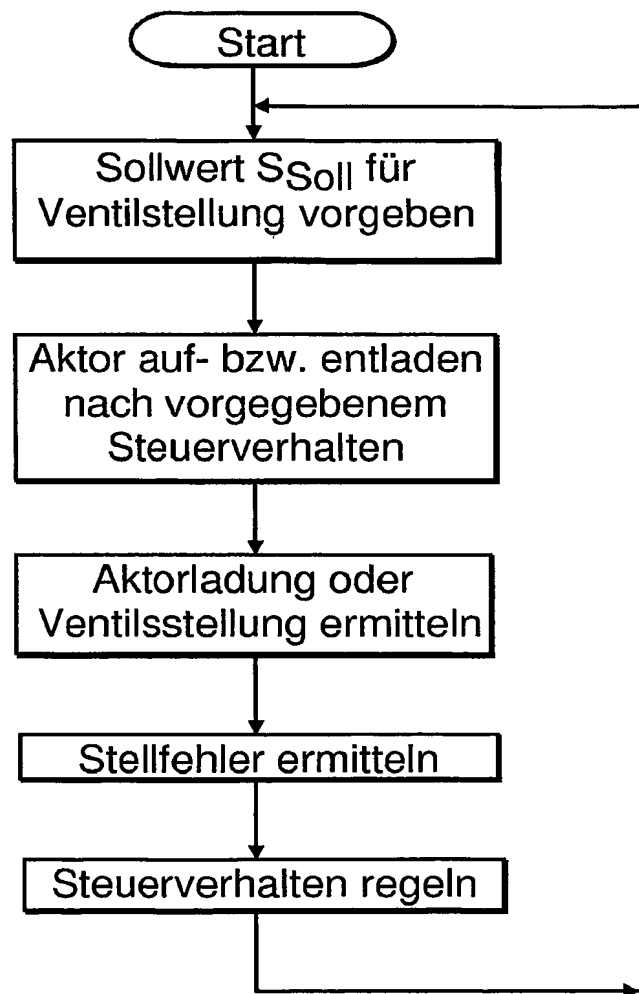


FIG 3